

Nowe normy PN-EN

dr inż. DARIUSZ PLEBAN
doc. dr inż. DANUTA AUGUSTYŃSKA
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Hałas maszyn – znormalizowane metody wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emisji

Jak już powiedziano w pierwszej publikacji tej serii [1] (patrz „Bezpieczeństwo Pracy” nr 1/2000) dyrektywa europejska 98/37/EC dotycząca bezpieczeństwa maszyn [6] określa m.in. wielkości fizyczne emisji hałasu maszyn, które należy mierzyć i których wartość należy podać. Są to: poziom ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i poziom mocy akustycznej. Wybór wielkości zależy od wartości emisji¹⁾. Metody wyznaczania tych wielkości określają normy europejskie zharmonizowane z wymienioną dyrektywą (obecnie wprowadzone do zbioru polskich norm metodą oficjalnego tłumaczenia).

Metody wyznaczania poziomu mocy akustycznej maszyn (serie norm PN-EN ISO 3740 i PN-EN ISO 9614) zostały omówione w trzech kolejnych publikacjach [2,4] (patrz „Bezpieczeństwo Pracy” nr 2,3 i 7-8/2000).

W niniejszej publikacji przedstawimy analizę porównawczą znormalizowanych metod wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach w pobliżu maszyn, określonych w serii norm PN-EN ISO 11200.

Seria norm europejskich EN ISO 11200 została opublikowana w 1996 r. Obejmuje ona pięć norm przyjmujących *in extenso* normy międzynarodowe ISO 11200 do ISO 11204, które opublikowano w 1995 r. W ramach prac Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 157 ds. Zagrożeń Fizycznych w Środowisku Pracy opracowano metodą oficjalnego tłumaczenia – polskie wersje powyższych norm, ustanowione przez Polski Komitet Normalizacyjny w 1999 r. Należy dodać, że w grudniu 1998 r. rozpatrywana seria norm europejskich została uzupełniona o jeszcze jeden dokument – pierwszy projekt ISO/CD 11205, dotyczący wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji metodą natężeniową, który obecnie ma status projektu ISO/DIS 11205.

Dla osób wykorzystujących praktycznie metody badań określone w serii norm PN-EN ISO 11200, szczególnie istotne znaczenie ma norma PN-EN ISO 11200. Zawiera ona obok krótkich podsumowań norm PN-EN ISO 11201 do PN-EN ISO 11204 dotyczących wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji wszystkich typów maszyn i urządzeń na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach także niezmiernie praktyczne informacje na temat procesu wyboru odpowiednich metod dla określonych maszyn i urządzeń. Ponadto norma ta definiuje pojęcie ciśnienia akustycznego emisji. W pomieszczeniu eksploatacyjnym na stanowisko pracy operatora maszyny docierają zarówno fale akustyczne bezpośrednio emitowane przez maszynę, fale odbite, jak również – fale od innych źródeł hałasu znajdujących się w tym pomieszczeniu. W związku z tym, ciśnienie akustyczne emisji L_p jest definiowane jako „ciśnienie akustyczne w określonym miejscu w pobliżu źródła hałasu, gdy źródło działa w określonych warunkach pracy i zamontowania na płaszczyźnie odbijającej dźwięk, z wyłączeniem wpływu hałasu tła i wpływu odbić od płaszczyzn innych niż płaszczyzna dozwolona do stosowania w badaniu”. Z definicji tej wynika, że ciśnienie akustyczne emisji jest wielkością:

Praca została wykonana w ramach Strategicznego Programu Rządowego pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych

– właściwą punktowni przestrzeni określone w stosunku do maszyny (np. stanowisko pracy),

– niezależną od środowiska, w którym funkcjonuje maszyna, ponieważ jest ono skorygowane o wpływ środowiska,

– mającą znaczenie tylko w odniesieniu do określonych warunków pracy i zamontowania maszyny.

A zatem, można jednoznacznie stwierdzić, że poziom ciśnienia akustycznego emisji jest drugą obok poziomu mocy akustycznej wielkością, charakteryzującą w sposób obiektywny hałas emitowany przez maszynę, a tym samym – niezmiernie ważną zarówno dla konstruktora maszyny, jak też dla strony przeprowadzającej ocenę akustyczną maszyny.

Przystępując do prezentowania serii norm PN-EN ISO 11200 wskazane jest podanie za normą PN-EN ISO 11200 definicji pojęć „określone miejsce” (które dotychczas nie pojawiało się w normach z dziedziny akustyki) oraz „miejsce operatora”. Za określone miejsce przyjmuje się „miejsce określone w stosunku do maszyny, obejmujące miejsce operatora, ale nie ograniczone do niego. Miejsce może być pojedynczy, ustalony punkt lub kombinacja punktów wzdłuż drogi lub na powierzchni, zlokalizowanych w określonej odległości od maszyny, opisanej w procedurze badania hałasu, jeżeli taka istnieje”. Natomiast miejsce operatora (stano-

¹⁾ Poziom mocy akustycznej powinien być podany, gdy poziom ciśnienia akustycznego emisji skorygowany charakterystyką częstotliwościową A przekracza 85 dB.

Nowe normy PN-EN

wisko pracy) zostało zdefiniowane jako „miejsce w pobliżu badanej maszyny przeznaczone dla operatora”.

Omawiana seria norm PN-EN ISO 11200 wprowadza sześć metod wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji. Metody te można podzielić na trzy główne grupy: pierwsza – obejmuje metody wymagające przeprowadzenia pomiarów poziomów ciśnienia akustycznego, druga – obejmuje metody wykorzystujące wartości poziomów mocy akustycznej maszyn, natomiast trzecia grupa zawiera metodę natężeniową.

METODY WYZNACZANIA POZIOMÓW CIŚNIENIA AKUSTYCZNEGO EMISJI NA PODSTAWIE POMIARÓW CIŚNIENIA AKUSTYCZNEGO

Charakterystyka ogólna

Na pozór wyznaczenie poziomu ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy może wydawać się działaniem bardzo prostym, polegającym jedynie na określeniu poziomu ciśnienia akustycznego w jednym punkcie przestrzeni. W rzeczywistości wcale tak nie jest. Wynik pojedynczego pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego na stanowisku pracy będzie jednocześnie wartością poziomu ciśnienia akustycznego emisji tylko wtedy, jeśli środowisko badawcze będzie spełniało warunki idealnego pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk (tj. nie będzie hałasu tła oraz odbić fal akustycznych od ścian, sufitu oraz jakichkolwiek przeszkód). Przypadek taki – poza specjalistycznymi – akustycznymi pomieszczeniami laboratoryjnymi (komory bezechowe), jest bardzo rzadko spotykany w praktyce przemysłowej. A więc, seria norm PN-EN ISO 11200 zawiera trzy następujące metody wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego:

- metodę w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk, bez korekcji środowiskowej (PN-EN ISO 11201),

- metodę orientacyjną w warunkach *in situ* z korekcją środowiskową, określaną w sposób uproszczony (PN-EN ISO 11202),

- metodę wymagającą poprawek środowiskowych (PN-EN ISO 11204), uwzględniając brak spełnienia przez środowiska badawcze warunków idealnego pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.

Powyższe metody różnią się sposobem, w jaki jest uwzględniany wpływ środowiska badawczego na wartość wyznaczonego poziomu ciśnienia akustycznego emisji oraz klasą dokładności. Jednak istnieje wiele cech wspólnych dla tych metod, do których należy zaliczyć m.in. wymagania dotyczące:

- miejsc (stanowisk pracy), w których mogą być wykonywane pomiary,
- instalacji i pracy badanej maszyny,
- pozycji mikrofonu,
- czasu pomiaru,

które zostały streszczone dalej.

W zakresie pierwszego z powyższych wymagań przykładami miejsc, w których mogą być wykonywane pomiary są:

- stanowisko pracy zlokalizowane w pobliżu badanej maszyny (jest to przypadek dotyczący wielu maszyn przemysłowych i urządzeń domowych),
- stanowisko pracy w kabinie, będącej integralną częścią badanej maszyny (np. maszyny do robót ziemnych),
- stanowisko pracy w częściowej lub całkowitej obudowie (lub za ekranem), dostarczonej przez producenta jako integralna część maszyny lub urządzenia,
- stanowisko pracy częściowo lub całkowicie otoczone badaną maszyną,
- miejsce obserwatora zajmowane przez osoby nie odpowiadające za pracę badanej maszyny, lecz które mogą przebywać w bezpośrednim jej pobliżu,
- inne określone miejsca, niekoniecznie stanowiska pracy lub miejsca obserwatora,
- droga w pobliżu maszyny, wzdłuż której porusza się operator.

Z kolei, w przypadku wymagań dotyczących instalacji i pracy, każda z powyższych metod ustala, że badana maszyna powinna być zainstalowana względem płaszczyzny odbijającej dźwięk w jednym lub kilku położeniach (charakterystycznych dla normalnego użytkownika) z jednoczesnym oddaleniem jej od ścian, sufitu lub innego obiektu odbijającego. Ponadto, podczas pomiarów należy wybrać jeden lub kilka z wymienionych warunków pracy:

- maszyna z określonym obciążeniem i w określonych warunkach pracy,
- maszyna z pełnym obciążeniem,
- maszyna na biegu jałowym,
- maszyna w warunkach pracy odpowiadających maksymalnej emisji hałasu reprezentatywnego dla normalnego użytkownika,

- maszyna z symulowanym obciążeniem w ściśle określonych warunkach,
- maszyna w warunkach pracy z charakterystycznym cykłem pracy.

Natomiast w przypadku wymagań dotyczących pozycji mikrofonu, normy PN-EN ISO 11201, PN-EN ISO 11202 i PN-EN ISO 11204 ustalają, że podczas badań przeprowadzanych w obecności operatora maszyny mikrofon jest umieszczany w odległości $0,2\text{ m} \pm 0,02\text{ m}$ od środka płaszczyzny głowy operatora, na jednej linii z oczami, z kierunkiem odniesienia mikrofonu równoległym do linii widzenia operatora i po tej stronie, po której jest obserwowana większa wartość poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A . Ponadto, w wymienionych normach uwzględniono także przypadek nieobecności operatora na stanowisku pracy podczas badań oraz przypadek operatora poruszającego się wzdłuż określonej drogi, precyzując także i dla tych przypadków sposoby lokalizacji mikrofonu.

Ostatnie ze wspólnych wymagań, dotyczące czasu pomiaru ustala, że czas ten powinien być wybrany w taki sposób, aby poziom ciśnienia akustycznego emisji mógł być wyznaczony dla określonych warunków pracy. Czas pomiaru T badanej maszyny może składać się z wielu przedziałów cząstkowych T_i , z których każdy odpowiada określonemu okresowi pracy maszyny. W takim przypadku wymagana jest zwykle jedna wartość poziomu ciśnienia akustycznego emisji L_p . Otrzymuje się ją przez uśrednienie cząstkowych poziomów ciśnienia akustycznego emisji, zgodnie z następującym wzorem:

$$L_p = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i 10^{0,1L_{p,i}} \right] \quad (1)$$

gdzie: $T = \sum_{i=1}^N T_i$

N – całkowita liczba cząstkowych przedziałów czasu,

Nowe normy PN-EN

$L_{p,T(i)}$ – poziom ciśnienia akustycznego emisji w cząstkowym przedziale czasu T_i , w dB.

Wszystkie powyżej przedstawione wymagania norm PN-EN ISO 11201, PN-EN ISO 11202 i PN-EN ISO 11204 mają zastosowanie tylko wtedy, kiedy nie istnieje dla danej maszyny procedura badania hałasu przewidująca inne wymagania, które mają wyższy priorytet i powinny zostać spełnione.

Metoda w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk

Metoda techniczna wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach w pobliżu maszyny, w warunkach zbliżonych do pola swobodnego została określona w normie PN-EN ISO 11201. Metoda ta, w porównaniu z metodami ustanowionymi w normach PN-EN ISO 11202 i PN-EN ISO 11204 jest najmniej pracochłonna, gdyż nie wymaga stosowania korekcji środowiskowej, lecz jednocześnie w jej przypadku mają zastosowanie zdecydowanie ostrzejsze kryteria, dotyczące środowiska badawczego – pomiary są wykonywane w kontrolowanych warunkach środowiskowych. Środowiskami odpowiednimi do pomiarów, zgodnie z normą PN-EN ISO 11201 są: przestrzeń otwarta nad płaską powierzchnią (np. płaska powierzchnia w przestrzeni otwartej pokryta asfaltem lub betonem) lub pomieszczenie zapewniające warunki zbliżone do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk – komora bezechowa z odbijającą podłogą. Ponadto środowisko powinno:

- być wolne od obiektów odbijających innych niż płaszczyzna odbijająca dźwięk,
- charakteryzować się wskaźnikiem środowiskowym K_{2A} (uwzględniającym odstępstwo środowiska badawczego od warunków idealnych przez określenie wpływu dźwięku odbitego lub pochłoniętego na powierzchniowy poziom ciśnienia akustycznego i wyznaczanym wg normy PN-EN ISO 3744), który nie powinien przekraczać 2 dB,
- spełniać następujące kryterium dotyczące poziomu hałasu tła: hałas tła zmierzony w pozycji mikrofonu jako poziom

ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A lub w każdym pasmie częstotliwości powinien być co najmniej o 6 dB (a najlepiej o ponad 15 dB) niższy od poziomu hałasu pochodzącego od badanej maszyny.

Z tych wymagań wynika, że jedynie poprawka uwzględniająca hałas tła K_I , powinna być zastosowana w celu uzyskania poziomu ciśnienia akustycznego emisji. W związku z tym, poziom ciśnienia akustycznego emisji (skorygowany charakterystyką częstotliwościową A lub w pasmach częstotliwości) na stanowisku pracy (lub w innym określonym miejscu) L_p , oblicza się stosując następujący wzór:

$$L_p = L'_p - K_I \quad (2)$$

gdzie: L'_p – zmierzony poziom ciśnienia akustycznego (skorygowany charakterystyką częstotliwościową A lub w pasmach częstotliwości) na stanowisku pracy (lub w innym określonym miejscu), w dB,

$$K_I = -10 \lg (1 - 10^{-0,1\Delta L}) \quad (3)$$

przy czym ΔL jest różnicą między poziomami ciśnienia akustycznego (skorygowanymi charakterystyką częstotliwościową A lub w pasmach częstotliwości) na stanowisku pracy (lub w innym określonym miejscu) odpowiedniej przy pracującej i wyłączonej badanej maszynie, w dB.

Metoda orientacyjna w warunkach *in situ*

Podana w normie PN-EN ISO 11202 orientacyjna metoda wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach w pobliżu maszyny jest zgodna z metodą podaną w normie PN-EN ISO 11201 (opisaną powyżej) z wyjątkiem trzech następujących elementów:

- dopuszczono pomiary w warunkach *in situ*,
- określono uproszczoną metodę wyznaczania lokalnej poprawki środowiskowej, która daje wyniki zbliżone do wyników otrzymanych w polu swobodnym nad płaszczyzną odbijającą dźwięk,
- zbiór wielkości mierzonych uszczuplono o poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach częstotliwości.

Metoda ta może być stosowana w po-

mieszczeniu lub otwartej przestrzeni, przy obecności jednej lub kilku płaszczyzn odbijających dźwięk. Wymagania dotyczące środowiska badawczego są oczywiście zdecydowanie łagodniejsze i łatwiejsze do spełnienia w porównaniu z wymaganiami ustalonymi z tego zakresu w normie PN-EN ISO 11201. W celu sprawdzenia przydatności środowiska badawczego należy wyznaczyć wielkość wspomnianego już wcześniej wskaźnika środowiskowego K_{2A} , uwzględniającego odstępstwa tego środowiska od idealnych warunków pola swobodnego. Wartość tego wskaźnika, wyznaczona zgodnie z procedurą podaną w normie PN-EN ISO 3746, nie powinna przekraczać 7 dB. Ponadto hałas tła w środowisku badawczym zmierzony w pozycji mikrofonu jako poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A powinien być co najmniej o 3 dB (a najlepiej o ponad 10 dB) niższy od poziomu hałasu pochodzącego od badanej maszyny.

Z powyższych wymagań wynika, że w celu uzyskania poziomów ciśnienia akustycznego emisji w określonym miejscu, do zmierzonych poziomów ciśnienia akustycznego powinny być zastosowane dwie poprawki: poprawka uwzględniająca hałas tła K_{IA} oraz lokalna poprawka środowiskowa K_{3A} . Wartość poprawki K_{IA} wyznacza się identycznie, jak w przypadku opisanej metody badania w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk (PN-EN ISO 11201). Natomiast poprawkę K_{3A} – człon korekcyjny, który odpowiada za wpływ dźwięku odbitego na poziom ciśnienia akustycznego emisji w określonym miejscu – wyznacza się metodą uproszczoną (nie wymagającą przeprowadzenia badań akustycznych) z następującej zależności:

$$K_{3A} = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right] \text{ dB} \quad (4)$$

gdzie: A – równoważna chłonność akustyczna pomieszczenia badawczego,

$$S = 2\pi a^2,$$

a – jest odległością (w metrach) od określonego miejsca do najbliższego głównego źródła dźwięku badanej maszyny.

Z kolei wartość równoważnej chłonności akustycznej A oblicza się następująco:

$$A = \alpha S_v \quad (5)$$

Nowe normy PN-EN

gdzie: α – średni współczynnik pochłaniania pomieszczenia badawczego (tab.),

S_v – całkowita powierzchnia pomieszczenia badawczego (ścian, sufitu i podłogi), w m².

Zatem uwzględniając poprawkę na hałas tła K_{IA} oraz poprawkę środowiskową K_{3A} poziom ciśnienia akustycznego emisji skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (na stanowisku pracy lub w innym określonym miejscu) L_{pA} , oblicza się następująco:

$$L_{pA} = L'_{pA} - K_{IA} - K_{3A} \quad (6)$$

gdzie: L'_{pA} – zmierzony poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (na stanowisku pracy lub w innym określonym miejscu), w dB.

Metoda wymagająca poprawek środowiskowych

Kolejną metodą wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji maszyn, w której dopuszczono pomiary w warunkach *in situ* jest metoda określona w normie PN-EN ISO 11204 – metoda wymagająca poprawek środowiskowych.

Metoda ta jest zgodna z metodą orientacyjną podaną w normie PN-EN ISO 11202 z wyjątkiem pewnych wymagań dotyczących:

- hałasu tła środowiska badawczego – hałas tła w środowisku badawczym zmierzony w pozycji mikrofonu jako poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (lub w każdym pasmie częstotliwości) powinien być co najmniej o 6 dB (a najlepiej o ponad 15 dB) niższy od poziomu hałasu pochodzącego od badanej maszyny,
- zbioru wielkości mierzonych – dopuszcza się także pomiary w pasmach częstotliwości,
- metod wyznaczania lokalnej poprawki środowiskowej i jej wpływu na klasę dokładności metody.

O ile dwa pierwsze z wymaganiami ustalonymi w normie PN-EN ISO 11201, to ostatnie z tych wymagań nie występuje w żadnej z pozostałych norm serii PN-EN ISO 11200 – tylko norma PN-EN ISO 11202 wymagała określenia poprawki środowiskowej K_3 , lecz zupełnie inną metodą.

Zgodnie z zasadami ustalonymi w normie PN-EN ISO 11204 lokalną po-

prawkę środowiskową K_{3A} można wyznaczyć jedną z następujących metod:

- na podstawie średniej poprawki środowiskowej (wskaźnika środowiskowego) K_2 ,
- na podstawie równoważnej chłonności akustycznej A pomieszczenia badawczego.

Każda z tych powyższych metod wymaga przeprowadzenia dodatkowych pomiarów akustycznych (w celu wyznaczenia np. średniej wartości poziomu ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej, czy też czasu pogłosu pomieszczenia badawczego) i w zależności od uzyskanej wartości lokalnej poprawki środowiskowej K_3 stopień dokładności opisanej w normie PN-EN ISO 11204 metody wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji odpowiada:

- stopniowi dokładności metody technicznej, jeśli $K_{3A} \leq 2$ dB,
- stopniowi dokładności metody orientacyjnej, jeśli K_{3A} spełnia następujące warunki: $K_{3A} > 2$ dB i $K_{3A} \leq 7$ dB.

Analogicznie, jak w przypadku metody orientacyjnej, poziom ciśnienia akustycznego emisji oblicza się wykorzystując ten sam wzór:

$$L_{pA} = L'_{pA} - K_{IA} - K_{3A} \quad (7)$$

gdzie: L'_{pA} – zmierzony poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (na stanowisku pracy lub w innym określonym miejscu), w dB,

K_{IA} – poprawka uwzględniająca hałas tła, w dB,

K_{3A} – lokalna poprawka środowiskowa, w dB.

W kolejnej publikacji zostaną omówione metody wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji na podstawie poziomów mocy akustycznej wg normy PN-EN ISO 11203 oraz na podstawie pomiarów natężenia dźwięku wg projektu normy ISO/DIS 11205. Zostaną również podane zasady wyboru wszystkich omówionych metod, a także bibliografia dotycząca całości omówionych zagadnień.

Tabela
WARTOŚCI PRZYBLIŻONE ŚREDNIEGO WSPÓŁCZYNNIKA POCHŁANIANIA DŹWIĘKU α (PN-EN ISO 3740)

Średni współczynnik pochłaniania dźwięku α	Opis pomieszczenia
0,05	Pomieszczenie prawie puste z gładkimi ścianami odbijającymi dźwięk wykonanymi z betonu, cegły, pustaków lub ze ścianami tynkowanymi
0,1	Pomieszczenie częściowo puste; pomieszczenie z gładkimi ścianami
0,15	Pomieszczenie umeblowane; prostopadłościenna maszynownia; prostopadłościenne pomieszczenie przemysłowe
0,2	Pomieszczenie umeblowane o nieregularnym kształcie; maszynownia lub pomieszczenie przemysłowe o nieregularnym kształcie
0,25	Pomieszczenie umeblowane meblami tapicerowanymi; maszynownia lub pomieszczenie przemysłowe z niewielką ilością materiałów pochłaniających dźwięk na ścianach lub suficie (na przykład częściowo pochłaniający sufit)
0,35	Pomieszczenie z materiałami pochłaniającymi dźwięk zarówno na suficie, jak i na ścianach
0,5	Pomieszczenie z dużą ilością materiałów pochłaniających dźwięk na suficie i na ścianach